Recharger les véhicules électriques et hybrides

Collection i³

Dirigée par Maya Bacache-Beauvallet et Cécile Méadel

L'Institut Interdisciplinaire de l'Innovation (i³) est un pôle d'enseignement et de recherche en sciences économiques et sociales de Mines ParisTech et Télécom ParisTech. Il rassemble des chercheurs en sciences économiques, gestion, sociologie, sciences de l'information et de la communication, ergonomie, qui abordent leurs objets d'analyse avec une approche pluridisciplinaire. La collection est destinée à faire connaître leurs travaux et à les diffuser auprès d'un public large.

Dans la même collection

Eva Boxenbaum, Brice Laurent et Annalivia Lacoste (dir.). *Nouvelles énergies pour la ville du futur*. Préface Fabian Muniesa. Postface Valérie Fernandez

Olivier Fournout. *Héros. Le leadership dans l'entreprise et sur les écrans*. Préface Thierry Weil. Postface Godefroy Beauvallet

Matthieu Glachant (dir.),
Marie-Laure Thibault,
Laurent Faucheux

Recharger les véhicules électriques et hybrides

Préface Rémi Maniak

i3
institut
interdisciplinaire
de l'innovation

Préface
Le véhicule électrique : cet objet extrême qui tire les sciences économiques et sociales

Par Rémi Maniak,
maître de conférences en sciences de gestion
à Télécom ParisTech, chercheur associé
au centre de recherche en gestion de l'École Polytechnique

Le véhicule électrique/hybride : pouvait-on trouver mieux pour initier cette série i[3] qu'un tel objet interdisciplinaire innovant ?

Depuis son âge d'or au début du XX[e] siècle, le véhicule électrique a été relégué au rang de gadget écologique. Trop cher, pas assez autonome, etc., par rapport aux avantages liés à cent ans de perfectionnement de l'automobile thermique traditionnelle et de ses infrastructures. Périodiquement – tous les vingt ans – une bulle se forme pour prévoir un décollage imminent du marché du véhicule électrique, jusqu'ici toujours contredite par les faits (Frery, 2000). Sous l'impulsion d'industriels et d'États volontaristes, une nouvelle bulle, semble-t-il, s'est formée depuis quelques années, et les prévisionnistes se déchaînent. Aux études prédisant une généreuse part de marché de 10 % en 2020 succèdent les rapports condamnant le véhicule électrique à une niche éternellement marginale. Alors 0, 5, 10, 20 % ?

La prévision souffre d'un biais de départ : le chiffre trouvé *in fine* est totalement dépendant des comportements des acteurs. Sans nier l'importance déterminante des travaux des nombreux chercheurs ou ingénieurs qui se penchent sur le développement de nouvelles générations de batteries, il suffit de reprendre les prévisions des années 1990 sur les volumes de ventes de téléphone mobile pour se convaincre que les actions des acteurs économiques dominent tout déterminisme technologique.

La recherche en économie et en sciences de gestion a alors un rôle primordial à jouer dans le déploiement du véhicule électrique, en permettant aux acteurs de cette épopée de mieux comprendre les leviers du déploiement d'une telle innovation. De par les ruptures qu'il créé dans les inerties d'appréciation, d'usage, et de conception, cette innovation interroge de nombreuses disciplines des sciences économiques et sociales, et il est attendu qu'elles proposent de nouveaux référentiels d'évaluation, de conception, et de prescription.

Réapprendre à compter

Le déploiement du véhicule électrique conduit les acteurs privés et publics à réapprendre à compter la rentabilité de leurs investissements.

Côté public, après tout pourquoi les États et les collectivités locales souhaitent-ils à ce point développer le véhicule électrique ? En réalité le véhicule électrique nous rappelle que la voiture est un objet sociétal autant qu'un objet de consommation individuel. L'impact économique et social du produit automobile s'est révélé pendant les trente glorieuses : création d'emplois, extensions des zones urbaines et développement de l'immobilier pavillonnaire, développement de l'industrie du tourisme… Aujourd'hui,

le véhicule électrique présente des vertus nouvelles, certaines révélant en creux les nombreux impacts négatifs du véhicule thermique, avec en tête son rôle dans les différentes formes de pollutions environnementales. Pour justifier les investissements et les mesures incitatives, la sphère publique est ainsi conduite à adopter pour le transport individuel les mêmes raisonnements qu'elle a appliqués aux investissements dans les transports collectifs, l'éducation et la politique familiale (Esping-Andersen et Palier, 2008), c'est-à-dire à objectiver les effets en chaîne de ses leviers incitatifs, pour mettre en balance la valeur sociale générée avec le coût pour les finances publiques, et ce sur chaque périmètre Europe/État/Collectivités locales.

L'État doit évidemment se livrer à cet exercice, notamment en calibrant les moyens permettant d'accélérer l'installation de l'infrastructure électrique, sujet central du présent ouvrage. Les sciences économiques permettent ici notamment d'objectiver les coûts complets liés à l'installation de ce réseau au-delà de la « simple » pose des bornes, de définir une structure incitative et son dosage pour développer le « marché de la recharge publique ». Côté valeur, le marché du CO_2 constitue un outil intermédiaire extrêmement pratique permettant de calibrer financièrement l'effort de subventionnement. Mais la question de la densité nécessaire du maillage de bornes ne renvoie pas uniquement à des composantes objectives. La psychologie permet de comprendre le rôle subjectif de rassurance que joue la présence de ces bornes même si elles sont peu utilisées dans les faits, et donc d'entrer en profondeur dans une nouvelle forme de peur de la panne et plus globalement de la perception de l'autonomie (Cahour, Nguyen, Forzy, et Licoppe, 2012). C'est un point déterminant dans le processus d'achat et dans l'impérative satisfaction des premiers clients. Dès lors, la notion de rentabilité de l'investissement dans une borne publique doit, s'il s'agit d'accélérer le déploiement du véhicule électrique, intégrer cette dimension.

Les collectivités locales font également leurs comptes. Par ses caractéristiques, le véhicule électrique est par définition territorialement ancré. Ses impacts sociétaux positifs et négatifs se mesurent essentiellement à une échelle géographique très réduite et tout à fait concrète. Les débats autour de l'impact CO_2 du VE «du puits à la roue» – c'est-à-dire incluant en plus de la circulation, la production de batteries, la production d'électricité, les émissions liées au recyclage, etc. – alimentent des débats infinis car les données d'entrée (lieux et moments des activités génératrices d'externalités) et de sortie (localisation des conséquences de l'émission) sont extrêmement variables et discutables. À l'inverse, le débat sur les émissions de particules paraît plus simple : un véhicule électrique ne produit aucune particule, et ces non-externalités sont extrêmement localisées. *Idem* pour le bruit. L'économie des transports est dès lors poussée à opérer à un niveau micro. Habituée aux grands flux et aux grands chantiers (métro, tramway, autoroutes…), la discipline doit aujourd'hui compter avec des unités d'analyse plus petites et des études d'impact plus fines. Quel est l'impact de l'arrivée de quelques centaines de véhicules électriques dans le parc roulant d'une ville moyenne, en termes de bruit global, émissions, prix de l'immobilier, d'emploi, etc., et qu'en est-il si ces véhicules électriques sont partagés entre plusieurs foyers ? Concentrés dans un éco-quartier ? Encore des chaînages nécessaires mais délicats à expliciter, et ce chaînage doit être partagé au niveau des collectivités locales pour que, au-delà des travaux d'experts, l'évaluation pèse effectivement sur les décisions.

La Communauté Européenne s'est également saisie de l'affaire, avec un levier original. Elle a mis en place un mécanisme extrêmement incitatif imposant un seuil maximal d'émission de CO_2 moyen[1] pour un constructeur

1 Règlement (CE) n° 443/2009 du Parlement européen et du Conseil du 23 avril 2009 établissant des normes de performance en matière d'émissions pour les voitures particulières neuves dans le cadre de l'approche intégrée de la Communauté visant à réduire les émissions de CO_2 des véhicules légers.

automobile. Il s'agit d'un puissant levier d'incitation à développer les ventes du véhicule électrique. Ainsi, une entreprise qui vend un million de véhicules thermiques à 140gCO_2/km en moyenne payera environ 700m€ de prime sur les émissions supplémentaires. En vendant en plus dix mille véhicules électriques, un constructeur ne paiera « que » 39 m€ (voir l'étude de Von Pechmann dans Syrota, Hirtzman, et Auverlot, 2011). Voilà un incitatif de taille.

On voit que les constructeurs doivent eux aussi réapprendre à compter la rentabilité de leurs investissements, et pas seulement en réintégrant les incitatifs publics dans leurs équations économiques. Le véhicule électrique agit comme un révélateur des écarts entre les raisonnements stratégiques des entreprises et les outils de gestion qu'elles utilisent ; orientant vers une révision des mécanismes d'allocation budgétaire, que ce soit en termes de rentabilité des programmes véhicules, ou des projets technologiques (Maniak, 2010).

Le contrôle de rentabilité des projets qui s'est développé ces vingt dernières années chez l'ensemble des constructeurs conditionne le lancement d'un produit à un objectif de rentabilité modèle par modèle, et la rentabilité d'une technologie à sa valeur directe perçue par le client. Mais les premiers véhicules électriques ne sauraient obéir à cette logique. Longtemps pensé comme une forme dégradée de motorisation pour des modèles véhicules existants, l'électrique apparaît aujourd'hui comme un vecteur de renouvellement de l'identité des produits et des services de mobilité. Comme la Prius avait marqué l'an 1 non pas de la technologie hybride, mais du produit hybride, les constructeurs misent sur une évangélisation du public par des concepts autonomes. L'exemple du Renault Twizy est révélateur : en créant un biplace électrique à mi-chemin entre un scooter à trois roues et une mini-citadine, le constructeur propose un produit totalement lié à l'univers conceptuel de l'électrique. Tesla a montré que la technologie électrique pouvait permettre

de monter de toutes pièces un nouveau constructeur automobile – en proposant une réinvention électrique du segment du très haut de gamme. Avec sa vitrine Autolib, Bolloré construit son propre écosystème autour de sa technologie batterie avec une gamme de produits qui s'étoffe (voitures, bus, bateaux) et un *business model* centré sur la gestion énergétique. On voit bien que la valeur des premières tentatives est au moins autant de générer un bénéfice minime (la Prius 1 a généré une perte directe de plus de huit cents millions d'euros), que d'initier une trajectoire qui va permettre à la fois d'évangéliser les clients autour d'un concept propriétaire et de développer des actifs (marque, notoriété, technologie) propriétaires permettant de créer et maintenir une avance concurrentielle. D'où la nécessité d'élargir la fenêtre de retour d'investissement sur le périmètre de la lignée de produits ainsi générée (LeMasson, Weil, et Hatchuel, 2006; Maniak et Midler, 2013), et plus globalement de reconstruire des raisonnements économiques pour les adapter à l'impératif d'innovation intensive (Midler, Maniak, et Beaume, 2012).

Réapprendre à concevoir

Le management de l'innovation étudie depuis une trentaine d'années comment rationaliser les processus de conception innovante. Historiquement lié à la structuration des projets de développement au sein des entreprises industrielles, ce champ s'est progressivement élargi au pilotage des projets d'innovation plus ambitieux. Le véhicule électrique tire, avec d'autres épopées industrielles, cette évolution théorique.

Une problématique essentielle porte sur les modalités de coordination avec les partenaires de ces projets de conception. Pour désintégrer des innovations assez intenses technologiquement (parking automatisé,

ouverture et démarrage sans clé, télématique embarquée…), les constructeurs ont déjà dû mettre en place avec leurs équipementiers des processus de co-innovation spécifiques, très différents des processus de co-développement traditionnellement focalisés sur l'optimisation qualité-coût-délai. Mais le véhicule électrique pousse encore plus loin cette logique. Ses caractéristiques poussent à intégrer dans l'écosystème de conception un nombre et une hétérogénéité d'acteurs inédits dans l'histoire industrielle.

L'État évidemment, qui au-delà des incitatifs à l'achat joue un rôle fondamental dans la définition d'un cadre juridique favorable (catégorisation des véhicules, normes de sécurité, installation de bornes dans les programmes immobiliers neufs). Les collectivités locales qui, on l'a dit, sont particulièrement impactées par le véhicule électrique qui est essentiellement un objet territorialement ancré, et qui peuvent jouer un rôle dans la co-spécification de produits et de services de mobilité électriques particulièrement adaptés à leurs spécificités, posant dès lors un enjeu de gouvernance territoriale du projet d'innovation (Fernandez et Puel, 2010). Les fabricants de batteries qui sont confrontés à un ensemble de choix qu'un constructeur doit guider à son avantage (choix techniques sur la composition des batteries, choix architecturaux qui définiront le périmètre d'interopérabilité des batteries produites au sein des différents systèmes de mobilité : choix de standards de recharge). Les énergéticiens qui sont des acteurs clés dans l'installation d'un réseau de recharge pertinent et optimisé. Les fabricants de matériel électrique qui conçoivent les bornes de charge et qui doivent eux aussi orienter leurs *roadmaps* en fonction des stratégies des constructeurs et des évolutions des standards. Les magasins et parkings dont on peut anticiper qu'ils joueront un rôle croissant dans un futur proche dans le déploiement d'un réseau de recharge public et dans la construction de *business models* nouveaux pour la recharge de véhicules électriques ou pour des services de mobilité électrique. La filière aval doit

également être orchestrée, depuis le réseau de maintenance jusqu'aux services publics de police et de pompiers qui doivent savoir s'y prendre avec ces nouveaux objets.

Cette tendance à l'éclatement du système de conception automobile va encore s'accentuer. Le véhicule électrique se présente de manière crédible au moment même où le domaine de la mobilité est en pleine effervescence : progrès fulgurants de la dernière décennie en matière de possibilité de captation des signaux, de stockage et de traitement des données ; développement spectaculaire d'une économie de services numériques ; mutations des usages de mobilité (désamour tendanciel pour la possession automobile au moins en Europe Occidentale, augmentation objective et subjective des contraintes pratiques et réglementaires associées à la conduite automobile). À l'heure où une trentaine de véhicules autonomes Google Car circulent sur les routes californiennes, où les véhicules peuvent remonter en temps réel une grande diversité et un grand volume d'informations, il est difficile de ne pas imaginer l'émergence de consortiums de conception et d'exploitation alliant constructeurs, collectivités locales, société de traitement de l'information (*big data*), agences e-marketing, etc.

Ces nouveaux *business models* et nouveaux écosystèmes d'affaires vont eux aussi demander de renouveler les principes de gestion de ces processus créatifs. Il s'agit notamment d'instaurer de nouveaux processus de co-innovation intégrant les logiques privées et publiques autour de l'exploration de produits socialement et territorialement ancrés (Maniak, 2011; Segrestin, 2006) ; de mettre en place au sein des entreprises industrielles de nouvelles unités organisationnelles capables d'orchestrer l'ensemble des acteurs de l'ecosystème de conception (Charue-Duboc, Dommergues, Maniak, Midler, et Muttoni, 2011; Cusumano et Gawer, 2002) ; voire de réinventer des formes juridiques et de gouvernance de l'action collective permettant à ces acteurs de matérialiser leur *affectio societatis* en inscrivant directement

leur projet dans une perspective de création de valeur économique et sociétale (Segrestin et Hatchuel, 2012). Il s'agit également de retrouver des formes originelles de gestion de projet, où les projets de développement de nouveaux produits sont avant tout envisagés comme des espaces d'expérimentation et de développement de nouvelles connaissances et de nouveaux partenariats (Aggeri, Elmquist, et Pohl, 2009 ; Charue-Duboc et Midler, 2011 ; Midler et Beaume, 2009).

Réapprendre à vendre

Le véhicule électrique pousse enfin à réinventer les modes d'interaction avec le système client. Emblématique de ce qu'on appelle les innovations disruptives (Bower et Christensen, 1995), le produit rompt en effet avec les critères d'évaluation établis. Il est objectivement moins performant sur certains attributs traditionnels d'achat (autonomie), mais il est plus performant sur des attributs encore peu connus et peu valorisés (silence, agrément de conduite, écologie). La communication institutionnelle (publicité classique) joue un rôle central en phase de pré-lancement, pour faire connaître le produit et installer un imaginaire positif associé. Mais le passage à l'acte d'achat dépend de leviers moins institutionnels et beaucoup plus viraux. Un utilisateur convaincu constitue un puissant ambassadeur capable d'intriguer les néophytes ou d'argumenter face aux détracteurs. Le second est de l'ordre de l'expérience vécue, une condition indispensable à la démystification de l'objet et à l'appréciation de ses atouts.

D'où l'intérêt de penser des services de prise en main originaux. Les passagers d'un acheteur pionnier ou d'un taxi électrique, les utilisateurs de véhicules électriques de flottes ou de véhicules de location… seront d'autant plus enclins à progresser vers l'acte d'achat qu'ils auront fait une

expérience satisfaisante. Ceci ouvre sur des raisonnements et des actions de promotion originales. Nous avons ainsi pu montrer qu'un service d'autopartage électrique ou qu'un pool de taxis électriques bien ciblé pouvait être rentabilisé – dans un premier temps – uniquement par les effets de prescription d'achat qu'il générait : effet boule de neige lié à la visibilité des véhicules dans les espaces urbains, au volume d'expériences délivrées par la flotte d'essai ainsi constituée… (Pechmann, Maniak, et Midler, 2012). Demander à ces services d'être rentables en tant que tels exclut les externalités générées par ces services sur la performance commerciale de la vente de véhicules. Penser les services comme des mécanismes promotionnels demande là encore de repenser les périmètres de rentabilité et d'investissement. Cela nécessite de mobiliser en même temps les sciences de gestion, la psychologie du consommateur, la sociologie des réseaux…

Enfin, sur des objets tellement en rupture, il est illusoire de croire que l'on va cibler directement les bons usages, les bons segments de clients, et les bonnes zones géographiques. Sur des produits traditionnels, les clients sont connus, les volumes le sont à peu près également, il « suffit » de pousser le produit dans les réseaux commerciaux existants. Par contraste, les cas de la Prius 1 (Itazaki, 1999) et de la Logan (Jullien, Lung, et Midler, 2012) ont montré l'importance d'une réactivité forte par rapport aux premiers retours clients. Pour la Prius, même si le ciblage initial avait été réalisé au Japon, l'engouement observé aux États-Unis a conduit l'entreprise à opérer un *reengineering* du produit à peine six mois après le premier lancement afin de le rendre utilisable aux États-Unis. Le succès spectaculaire en Californie sera pour beaucoup dans la promotion du concept d'hybride à l'échelle internationale et dans le succès des versions ultérieures. Pour la Logan, le plan de déploiement imaginé initialement a pu être rapidement adapté aux signaux du marché. Si l'Europe de l'Est avait dû rester la cible principale, alors Logan eût été un échec. C'est en reciblant l'effort sur des marchés non anticipés que le programme a trouvé une rentabilité exceptionnelle

(l'exemple de la France est emblématique). Le véhicule électrique pose les mêmes défis pragmatiques : reciblage des segments, des usages, du positionnement, des pays… en fonction des premiers *feedbacks* des clients.

Des instances qui catalysent le bouclage recherche-formation-action

On voit que les défis posés à la gestion et à l'économie sont nombreux. Ces défis ont notamment conduit à mettre en place des structures permettant d'opérer des boucles courtes entre recherche, formation et action.

Citons notamment deux instituts, qui organisent cette dynamique sur deux horizons différents. L'Institut de la Mobilité Durable, lancé par la Direction de la Responsabilité Sociale de l'Entreprise de Renault et ParisTech en 2009, qui organise les travaux de plusieurs équipes de recherche de ParisTech, la plupart en sciences économiques et sociales. Ces équipes sont mobilisées en bilatéral sur des problématiques opérationnelles de l'entreprise, liées au déploiement de la mobilité électrique. L'Institut VEDECOM, lancé en 2012, intègre de nombreux acteurs privés (constructeurs, équipementiers, startups), publics (collectivités locales) et académiques. Cet agencement permet d'explorer, à un horizon « précompétitif », les solutions de mobilité d'emblée au niveau d'un écosystème d'acteurs publics-privés.

Les Chaires d'Enseignement et de Recherche constituent d'autres vecteurs de coopération sur le sujet. On peut citer par exemple la Chaire Armand Peugeot dédiée au véhicule électrique, la Chaire Management de l'Innovation de l'École Polytechnique, la Chaire Modélisation des Imaginaires à Télécom ParisTech, ou la Chaire Théorie et Méthodes de la Conception Innovante à Mines ParisTech.

Pour boucler la boucle, on assiste au développement de plusieurs filières de formation permettant de préparer les futurs professionnels de cette industrie. On citera notamment deux masters développés par ParisTech en partenariat avec la Fondation Renault : Transport et Développement Durable (Ponts, Polytechnique, Mines, en partenariat avec la Fondation Renault), Mobilité Véhicule Electrique (ENSAM, Ponts, ENSTA, Mines).

C'est notamment en participant à ces nouveaux agencements que nous pouvons travailler les questions évoquées ici. Via des projets de recherche, des thèses de doctorat et des projets de master connectés aux actions opérationnelles en cours, sur un temps suffisamment long pour accompagner dans la durée les transformations opérationnelles et construire des référentiels théoriques adaptés.

En définitive, si ce sont les acteurs économiques et sociaux qui vont déterminer l'avenir du véhicule électrique, c'est tout naturellement que l'économie et la gestion, et plus largement les sciences sociales sont convoquées pour aider les initiateurs de cette épopée à comprendre les ressorts de cette aventure. L'ouvrage proposé par Matthieu Glachant, Marie Laure Thibault et Laurent Faucheux se situe dans cette perspective, en se basant sur des socles théoriques établis (théorie du monopole naturel, économie des réseaux, etc.) pour enrichir les décisions publiques relatives à l'investissement en infrastructures et aux efforts de standardisation. En retour, cet objet extrême – par les ruptures qu'il implique – tire nos disciplines dans des voies originales et fécondes.

Références

Aggeri, Franck, Elmquist, Maria, et Pohl, Hans. (2009). Managing learning in the automotive industry - the innovation race for electric vehicles. *International Journal of Automotive Technology and Management, 9*(2), 123-147.

Bower, Joseph L., et Christensen, Clayton M. (1995). Disruptive Technologies : Catching the Wave. *Harvard Business Review 73*(1), 43-53.

Cahour, Béatrice, Nguyen, Claudine, Forzy, Jean-François, et Licoppe, Christian. (2012). *Using an electric car : a situated, instrumented and emotional activity.* Paper presented at the Proceedings of ECCE 2012 (Cog. Ergonomics), august 29th-31th Edimburgh.

Charue-Duboc, Florence, Dommergues, Guillaume, Maniak, Rémi, Midler, Christophe, et Muttoni, Ignacio. (2011). Structurer un écosystème adapté au déploiement d'une innovation de rupture. In C. Midler, S. Ben Mahmoud-Jouini et R. Maniak (Eds.), *Management de l'Innovation de Rupture* (pp. p.102-112). Palaiseau : Presses de l'Ecole Polytechnique.

Charue-Duboc, Florence, et Midler, Christophe. (2011). Quand les enjeux environnementaux donnent lieu à des innovations stratégiques : Le cas de la stratégie véhicule électrique de Renault. *Revue Française de Gestion, n°215.*

Cusumano, Michael A., et Gawer, Annabelle. (2002). The Elements of Platform Leadership. *MIT Sloan Management Review, 43*(3), 51.

Esping-Andersen, Gøsta, et Palier, Bruno. (2008). *Trois leçons sur l'État-providence*: Le Seuil.

Fernandez, Valérie, et Puel, Gilles. (2010). *La gouvernance territoriale des TIC*. Paris: Hermes Lavoisier.

Frery, Fréderic. (2000). Un cas d'amnésie stratégique: l'éternelle émergence de la voiture électrique: IX[e] Conférence Internationale de Management Stratégique, Montpellier, 24-26 mai.

Itazaki, H. (1999). *The Prius that Shook the World*. Tokyo: Nikkan Kogyo Shimbun.

Jullien, Bernard, Lung, Yannick, et Midler, Christophe. (2012). *L'épopée Logan*. Paris: Dunod.

LeMasson, Pascal, Weil, Benoît, et Hatchuel, Armand. (2006). *Les processus d'innovation: Conception innovante et croissance des entreprises*. Paris: Hermes Science Publications.

Maniak, Rémi. (2010). *Mapping the «Full Value» of Innovative Features in Projectified Firms*. Paper presented at the EURAM, Rome, 19-22 mai.

Maniak, Rémi. (2011). *Co-innovation - Caractérisation, évaluation et management*. Sarrebrück: Editions universitaires europeennes.

Maniak, Rémi, et Midler, Christophe. (2013). *Concept Driven Projects*. Paper presented at the European Group for Organizational Studies Conference, Montreal, 4-6 Juillet.

Midler, Christophe, et Beaume, Romain. (2009). Project-based learning patterns for dominant design renewal : The case of Electric Vehicle. *International Journal of Project Management, 28*(2), 142-150.

Midler, Christophe, Maniak, Rémi, et Beaume, Romain. (2012). *Réenchanter l'industrie par l'innovation - L'expérience des constructeurs automobiles*. Paris : Dunod.

Pechmann, Felix von, Maniak, Rémi, et Midler, Christophe. (2012). Évaluer le rôle des marchés précurseurs dans le déploiement d'innovations disruptives. *Working Paper - Under review*.

Segrestin, Blanche. (2006). *Innovation et coopération interentreprises : comment gérer les partenariats d'exploitation?* Paris : CNRS Editions.

Segrestin, Blanche, et Hatchuel, Armand. (2012). *Refonder l'entreprise* : Seuil.

Syrota, Jean, Hirtzman, Philippe, et Auverlot, Dominique. (2011). *La voiture de demain : carburants et électricité* : Etude du Centre d'Analyse Stratégique, N°37.

I - Introduction

C'est désormais une évidence : la diffusion des véhicules électriques et hybrides rechargeables (VEx dans la suite du livre) dépend du déploiement d'une infrastructure de recharge dense et pratique. Or, compte tenu des paramètres économiques actuels de rentabilité, ce déploiement ne peut se faire spontanément sans autorités publiques volontaristes offrant des financements et édictant des normes et des prescriptions[2].

Le plan gouvernemental pour le développement des véhicules propres[3] lancé en octobre 2009 comporte un volet « infrastructures de charge » incluant différentes mesures : le lancement de démonstrateurs d'infrastructures de charge financés par l'ADEME, la création d'une nouvelle filiale d'ERDF pour accompagner les communes dans le déploiement des bornes, un « droit à la prise » dans les copropriétés, la standardisation des prises, des prises obligatoires dans les nouveaux immeubles avec parking, etc. En 2010, la loi dite du Grenelle 2 a explicitement confié aux communes la compétence du déploiement des infrastructures de recharge ouvertes au public. Dans cette perspective, le *Livre vert sur les infrastructures de recharge ouvertes au public pour les véhicules décarbonés*[4] publié en avril 2011 constitue un véritable mode d'emploi à destination des communes pour l'exercice de cette compétence.

2 Cet ouvrage est issu d'une recherche sur l'économie du déploiement des infrastructures de recharge réalisée dans le cadre du PREDIT (Programme de Recherche et d'Innovation dans les Transports terrestres) et financée par l'ADEME.

3 Voir www.developpement-durable.gouv.fr/_article_print.php3?id_article=6001

4 Du sénateur Louis Nègre, avec Jean-Louis Legrand ; publié par la Documentation française.

Dans ce contexte, cette étude économique a une visée plus opérationnelle qu'académique. Il s'agit de contribuer à la discussion sur les politiques publiques et privées (dans le domaine de la standardisation notamment) qui permettraient de déployer rapidement les infrastructures de charge à un coût minimal pour la société. Plus précisément, elle traite trois grandes catégories de questions :

- Comment dimensionner l'infrastructure ? Quelle densité de bornes de recharge choisir ?
- Qui doit gérer les bornes ? Des entreprises privées ? Des opérateurs publics ? Faut-il faire payer à l'usager la recharge et si oui, à quel prix ?
- Quel rôle doit jouer la standardisation dans le déploiement de l'infrastructure ?

Ces questions sont souvent proches de celles explorées dans le *Livre Vert* mentionné plus haut. Le traitement que nous proposons est toutefois différent car il repose essentiellement sur les concepts de l'analyse économique (analyse coût-bénéfice, théorie du monopole naturel, économie des réseaux) alors que le *Livre Vert* donne une place importante, et justifiée, à des considérations très opérationnelles que nous n'évoquerons pas dans cet ouvrage. Nous verrons que la perspective adoptée conduit à des recommandations contredisant parfois celles du *Livre Vert*.

L'ouvrage est organisé en cinq parties. La première décrit les technologies de l'électro-mobilité, puis nous résumons rapidement la politique française dans une seconde partie. Nous rassemblons et analysons ensuite les données technico-économiques sur le coût de la recharge. Cela nous permettra de formuler des points de vue sur le calibrage de l'infrastructure de recharge. La quatrième partie discute les modes d'organisation de la recharge publique et sa tarification. Une cinquième partie explore le rôle de la standardisation. Enfin, la conclusion rassemble les résultats.

2 - La technologie

Ce chapitre présente les technologies mises en œuvre dans l'électro-mobilité, à la fois au niveau des véhicules, des infrastructures de charge, des batteries et des technologies logicielles. Sa lecture n'est pas indispensable aux lecteurs familiers avec l'électro-mobilité.

2.1 Les différents types de véhicules électriques

Il est usuel de distinguer le véhicule purement électrique et le véhicule hybride rechargeable. Le premier n'a pas de réservoir pour le carburant, ni de moteur thermique. Il est uniquement équipé d'un moteur électrique alimenté par une batterie qui doit être rechargée sur le réseau électrique. Le véhicule hybride rechargeable fait appel à une source d'énergie électrique et à un moteur à combustion interne pour tirer le meilleur parti possible des deux énergies. Le moteur à combustion interne peut fonctionner avec différents carburants : essence, diesel, biocarburant, gaz, etc. L'objectif est d'optimiser la gestion et le pilotage des composants afin de minimiser les consommations d'énergie du véhicule tout en préservant ses performances. La différence avec le véhicule hybride conventionnel du type Prius est que sa batterie peut se recharger sur le réseau électrique alors que le pur hybride est rechargé par le moteur thermique.

Les véhicules hybrides peuvent avoir cinq fonctionnalités, qui ne sont présentes en intégralité que dans les véhicules rechargeables :

Table des matières

Préface - Rémi Maniak 7

1 - Introduction 23

2 - La technologie 25

2.1 Les différents types de véhicules électriques 25

2.2 Les technologies d'infrastructures de recharge 27

3 - La politique française de déploiement de l'infrastructure de recharge 41

3.1 Objectifs 41

3.2 Les instruments d'incitation à l'achat 42

3.3 Les instruments pour déployer l'infrastructure de charge 42

3.4 Que retenir ? 44

4 - Une analyse technico-économique de la recharge 45

4.1 Le coût unitaire des bornes 45

4.2 Le calibrage de l'infrastructure de recharge 46

4.3 Le coût de la recharge normale publique 48

4.4 Quelles conséquences pour le calibrage de l'infrastructure de transport ? ... 49

4.5 Que retenir ? 54

5 - Investissement, gestion et tarification 55

5.1 La recharge partagée est un monopole naturel 55

5.2 La régulation du monopole naturel 57

5.3 Que retenir ? 60

6 - La standardisation 61

6.1 Qu'est-ce qu'un standard ? 61

6.2 L'économie des réseaux 63

6.3 Les besoins de compatibilité 70

6.4 Deux guerres des standards en cours 73

6.5 Que retenir ? 77

Conclusion 81

Bibliographie 85